

SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS PARA UN GONIOFOTÓMETRO DE DOBLE REFLEXIÓN

Ibáñez Payán Rodolfo¹, Garduño Wilches Ismael Arturo², Corral Martínez Luis Francisco¹, Anguiano Morales Marcelino¹, Trujillo Schiaffino Gerardo¹, Salas Peimbert Didia Patricia¹ y Sandoval Rodríguez Rafael³

¹Tecnológico Nacional de México/I.T. Chihuahua, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Av. Tecnológico 2909, Chihuahua, Chih., México, C.P. 31310.

² Cátedras Conacyt/CICATA-IPN, Calzada Legaria 694, Col. Irrigación. Del. Miguel Hidalgo, Cd. de México, C.P. 11500.

³Tecnológico Nacional de México/I.T. Chihuahua II, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Av. de las Industrias #11101, Chihuahua, Chih., México, C.P. 31130.

e-mail: lfcorral@itchihuahua.edu.mx

RESUMEN.

En el presente trabajo se describe el proceso realizado para el desarrollo del sistema de control y adquisición de datos de un goniómetro para el Laboratorio de Análisis de Sistemas de Iluminación del Instituto Tecnológico de Chihuahua. Se presenta primeramente una breve introducción acerca de la importancia de los sistemas de iluminación en la actualidad, así como la necesidad de que estos sistemas cumplan con ciertos estándares de calidad establecidos por las normas oficiales mexicanas e internacionales, para lo cual se utilizan diferentes instrumentos, de los cuales el goniómetro es uno de los más importantes. De igual manera se hace una breve descripción del tipo de goniómetro implementado, así como la interconexión y señales utilizadas para el movimiento de cada uno de los ejes. Seguidamente se describe el desarrollo del software de adquisición de datos, componentes utilizados, software implementado y señales utilizadas. Por último se describe la forma en la que se calculó la posición del eje principal así como conclusiones y trabajo futuro.

Palabras Clave: goniómetro, software, sistemas de iluminación.

ABSTRACT.

In the present work the process carried out for the development of the control and data acquisition system of a goniophotometer for the lighting systems laboratory of the Technological Institute of Chihuahua is described. A brief introduction is first presented about the importance of lighting systems today, as well as the need for these systems to meet certain quality standards established by the official Mexican and international standards, for which different instruments are used, of which the goniophotometer is one of the most important. Likewise, a brief description is made of the type of goniophotometer implemented, as well as the interconnection and signals used for the movement of each of the axes. The development of the software for data acquisition, components used, software implemented and signals used is described below. Finally, we describe the way in which the position of the main axis was calculated, as well as conclusions and future work.

Keywords: goniophotometer, software, lighting systems.

1. INTRODUCCIÓN

Es bien sabido que en la actualidad los sistemas de iluminación juegan un papel muy importante en nuestra sociedad, ya que prácticamente en cualquier actividad que se realice, ya sea en el hogar, la escuela o el trabajo, es necesario contar con algún tipo de sistema de iluminación artificial para poder llevar a cabo nuestras actividades. Sin embargo, estos sistemas de iluminación deben cumplir con ciertos estándares de calidad establecidos por normas oficiales Mexicanas e internacionales, los cuales aseguran un correcto funcionamiento, calidad de iluminación y confort visual para las personas que están expuestas a ellos.

Existen diferentes instrumentos destinados al diseño y caracterización de sistemas de iluminación, entre los principales podemos encontrar: el analizador de potencias y la esfera integradora (esfera de Ulbricht), los cuales son muy útiles al momento de determinar parámetros tales como: la eficacia de una luminaria. Así mismo, un equipo indispensable para la caracterización y certificación de luminarias es el goniómetro que es un equipo destinado al análisis de curvas fotométricas. El principal objetivo de las mediciones realizadas con este instrumento, llamadas fotométricas, es conocer la forma de la distribución lumínica y la medida de las intensidades luminosas alrededor de la fuente bajo prueba[1].

Actualmente los goniómetros comerciales existentes en el mercado cuentan con una gran eficiencia en tiempo de prueba y resolución, sin embargo tienen la gran desventaja de que son de gran tamaño y su costo es muy elevado, por lo tanto éstas restricciones los hace de alguna manera no alcanzables para instituciones con espacios reducidos o para aquellas que no cuenten con el suficiente presupuesto económico para adquirir un instrumento de estas características.

Actualmente en el área de posgrado del ITCH se planteó el objetivo de diseñar y construir un goniómetro que permita reducir el costo, manteniendo las dimensiones adecuadas para cumplir con las normas establecidas, al tiempo que ocupa un

volumen reducido que le permite ser instalado en el Laboratorio de Análisis de Sistemas de Iluminación del instituto.

A la fecha ya se cuenta con el diseño óptico y con el equipo armado en el laboratorio. Por lo que el presente trabajo se enfoca en los sistemas de control de mecanismos y de adquisición de datos del equipo.

2. GONIOFOTÓMETRO TIPO C: ESTRUCTURA Y MECANISMOS.

En el caso de este proyecto se tiene la estructura de un goniómetro tipo C de espejo móvil [1] tal como se muestra en la figura 1. En este se hace llegar la luz al fotosensor de manera indirecta por medio de un sistema de dos reflexiones, en donde el espejo principal está colocado sobre un marco giratorio, en una posición inicial tal que éste queda debajo de la luminaria bajo prueba. Así mismo, este espejo principal está alineado de tal forma que refleja el flujo luminoso incidente hacia el espejo secundario, que a su vez está alineado con el sensor fotométrico, teniéndose de esta manera un flujo luminoso incidente en el fotosensor de forma constante (figura 1). Este diseño permite desplazar el espejo 1 sobre un círculo de 0.75 m de radio alrededor de la luminaria, registrando las distintas intensidades en función del ángulo. Una vez concluida una revolución del espejo, se hace girar la luminaria sobre su eje a un ángulo determinado, para después volver a girar el espejo 1 alrededor de la misma. El conjunto completo de movimientos simula el movimiento del sensor a lo largo de la superficie de una esfera de hasta casi seis metros de radio.

La estructura metálica construida consta de dos bases de las mismas dimensiones hechas de perfil cuadrado de acero de 10 por 10 cm y 0.63 cm de grosor. El marco giratorio es un rectángulo con medidas internas de 3.4 m por 2.06 m, está hecho de material R-300 calibre 18 de 7.6 cm por 3.8 cm[2].

Esta estructura cuenta además con los dos motores que realizan el movimiento de ambos ejes. El motor principal es un motor tipo nema 34 marca Wantai, modelo 85BYGH450C-012 el cual mueve el marco giratorio sobre el cual está montado el espejo que realiza la exploración alrededor de la fuente de iluminación bajo prueba. El segundo motor, que va montado sobre la base que soporta la luminaria, realiza el cambio de meridiano después de cada vuelta del marco giratorio, es un motor tipo nema 23 marca Wantai, modelo 57BYGH115-003B.

Para poder certificar éste equipo para la realización de pruebas fotométricas a diferentes tipos de luminarias, es necesario que éste cumpla con los diferentes puntos establecidos por la norma oficial mexicana NOM-031-ENER-2012, en la cual se establece que los pasos angulares del sistema de posicionamiento del goniómetro deben ser como máximo 0.5° . Una velocidad adecuada al tiempo de respuesta del fotosensor y, la desviación de la responsividad espectral relativa del sensor fotométrico no debe exceder el 10%.

La norma marca una distancia de prueba entre la luminaria y el sensor fotométrico de al menos cinco veces la dimensión máxima de la abertura luminosa del luminario bajo prueba, y no

menor a 3 m. Esta especificación es fácil de cumplir con este sistema de dos reflexiones y de esta manera hace posible el poder realizar pruebas a un amplio rango de tamaños de luminarias, cumpliendo con los estándares establecidos[3].

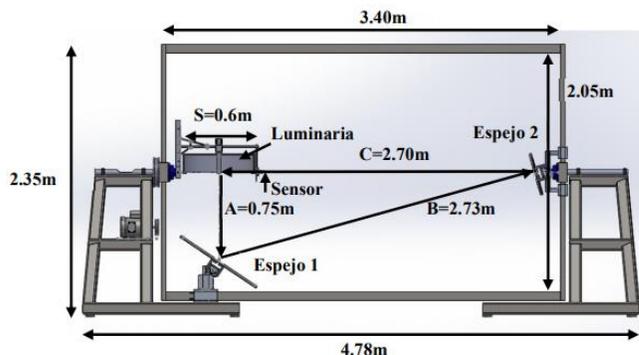


Figura 1. Estructura metálica y componentes del goniómetro

3. INTERFAZ Y CONTROLADORES DE POTENCIA.

El movimiento de los ejes de goniómetro se realiza por medio de una interfaz virtual desarrollada en LabVIEW, el cual cuenta con LIFA (LabVIEW Interface for Arduino) que es una librería de Sub VI's, la cual permite a los usuarios de Arduino adquirir datos del microcontrolador y procesarlos en el entorno de programación gráfica de LabVIEW. Esta librería cuenta con funciones muy específicas para el manejo de Arduino, tales como: lectura de una salida digital, lectura de un puerto, escritura en una entrada digital, iniciar comunicación entre PC y arduino, comunicación con diferentes tipos de sensores, etc. Lo que hace ésta interfaz es enviar paquetes de datos de LabVIEW a arduino, esos datos son procesados en Arduino y enviados de regreso. Posteriormente estos datos son analizados en el entorno gráfico de LabVIEW y finalmente se obtiene la información que es de utilidad para el usuario.

En el caso de este proyecto se genera el código fuente en LabVIEW, en donde se realiza el algoritmo de secuencia de movimiento de los ejes, estos datos son enviados a una tarjeta Arduino mega 2560 por medio del cable USB y Arduino genera las señales de control las cuales son enviadas por medio de las salidas del puerto digital hacia los controladores de potencia de los motores y de esta manera se genera el movimiento en cada uno de los ejes.

4. SISTEMA DE CONTROL

4.1. Motor principal.

Para el giro del marco del goniómetro, que es donde va montado el espejo principal que realiza la exploración alrededor de la fuente de iluminación, se utilizó un motor a pasos marca wantai que tiene como características principales: 1.8° por paso, corriente de 3 A, par sostenido de 11.2 N-m y una inercia del rotor de 3.6 Kg-cm. Este motor es manejado

mediante el controlador DQ542MA (figura 2) el cual manda las señales de control y permite configurarlo a micro pasos teniendo la capacidad de manejar diferentes resoluciones que van desde 400 hasta 51200 pasos/ rev[4].

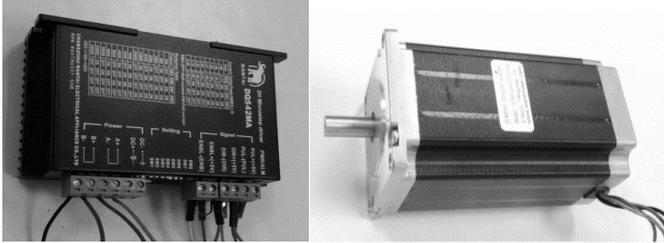


Figura 2. Controlador de potencia y motor a pasos del eje principal.

Para la conexión del motor con el controlador se conectaron cada una de las bobinas del motor a las terminales A+, A-, B+ y B- las cuales controlan cada una de las bobinas. Para el control de energizado de las bobinas se tienen tres señales de entrada las cuales son: ENBL, DIR y PUL, estas señales son controladas mediante las salidas de la tarjeta Arduino, las cuales a su vez se controlan mediante la secuencia de control desarrollada en LabVIEW y que se comunica con la tarjeta arduino mediante el cable USB.

Además de esto se tuvo la necesidad de programar dentro del software de control, una rampa de aceleración y de frenado para el movimiento del marco giratorio. Debido al peso montado sobre éste, como son las bases y el espejo mismo, se tiene una inercia muy grande, por lo tanto resultaría riesgoso para la integridad de los espejos, el arrancar o frenar de golpe el movimiento del marco. Dentro de la misma interfaz de LabVIEW para Arduino (LIFA) existe una librería para el manejo de motores a pasos. En esta librería se encuentran diferentes sub VI's entre los cuales esta Stepper Write que se muestra en la figura 3.

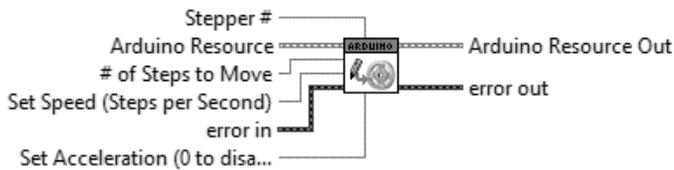


Figura 3. Sub VI Stepper Write.

Al momento de ejecutar este sub VI lo que se hace es enviar la información hacia la tarjeta arduino de cuál motor mover, cuántos pasos moverse, a qué velocidad y se tiene además la opción de configurar una rampa de aceleración en pasos/seg². En este caso se configuró una rampa de 50 pasos/seg² para alcanzar una velocidad final de 300 pasos/segundo obteniendo así un tiempo por rampa de 6 segundos.

Para el control del movimiento se colocó este Sub VI dentro de una estructura de eventos, la cual al momento de presionar el

botón “Inicio” se realiza la secuencia de movimiento de cada uno de los ejes del goniómetro.

4.2. Motor secundario

Para el control del movimiento del eje secundario del goniómetro, el cual está montado sobre la base de la luminaria y es el que realiza el cambio de meridiano después de cada giro del marco principal, se utilizó un motor a pasos marca Wantai, el cual cuenta con las siguientes características: 1.8° por paso, torque sostenido de 2.9419 N-m, corriente de 3 A y una inercia del rotor de 800 gr/cm². Tiene un par de arranque elevado y por medio del controlador de potencia DQ860MA (figura 4) es posible configurarlo a micro pasos para el manejo de diferentes resoluciones que van desde 400 hasta 25600 pasos/rev[5].

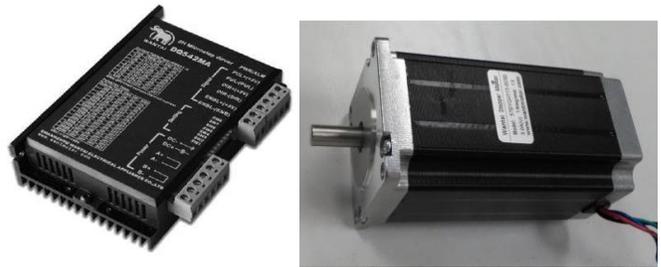


Figura 4. Controlador de potencia y motor a pasos del eje secundario.

Sin embargo en este caso debido a la naturaleza del motor de pasos, el cual está conformado por bobinas y basa su movimiento en el magnetismo de éstas cuando se energizan, al momento de avanzar un paso para hacer el cambio de meridiano, el motor tiene una cierta inercia la cual impide que éste se detenga instantáneamente, sino que tarda un poco de tiempo en estabilizarse. Debido a esto fue necesario programar un pequeño retardo después de cada movimiento del motor secundario para dar tiempo a que se detenga completamente y así poder continuar con el siguiente giro del marco y por ende de la toma de mediciones del sensor fotométrico.

Al igual que en el caso del motor principal, las señales son enviadas desde LabVIEW hacia la tarjeta Arduino en donde se recibe los paquetes de datos enviados, procesa la información y envía las señales de control para realizar el movimiento.

Para el movimiento del motor secundario se utiliza el mismo sub VI Stepper Write en donde se configura para que avance un solo paso a la vez, a una velocidad de 100 pasos/seg y en este caso la aceleración es cero.

5. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

5.1. Lectura de datos

Para el sistema de adquisición de datos se cuenta con un sensor fotométrico LI-210R de la marca LI-COR el cual mide la radiación visible al ojo humano (figura 5), la respuesta espectral de éste coincide con la curva estándar del observador

CIE (Commission Internationale de L'éclairage, 1996), además de tener una excelente respuesta cosenoidal, es decir, es sensible a la luz proveniente de todas direcciones, hasta un ángulo de incidencia de 82° y tiene un tiempo de respuesta de 1 micro segundo. Este fotosensor entrega como respuesta a la luz, una corriente medida en nA o uA la cual al ser multiplicada por la constante de calibración proporciona una medida de iluminancia en luxes[6]



Figura 5. Sensor fotométrico.

Para adquirir la señal del fotosensor se utilizó un multímetro digital Keysight 3458A (figura 6) el cual tiene una capacidad de adquisición de hasta cien mil muestras por segundo en modo high speed, además de medir corrientes tan pequeñas, desde el rango de los nA, por lo tanto es cien por ciento compatible con la señal entregada por el foto sensor y no necesita ningún tipo de acondicionamiento de señal. Cuenta con una precisión de hasta ocho y medio dígitos y una sensibilidad de 1 pA[7].



Figura 6. Multímetro Digital Keysight 3458A.

Este multímetro digital es controlado remotamente por medio de una PC que contiene el software de adquisición de datos desarrollado en LabVIEW. Para el desarrollo del software de adquisición de datos fue necesario descargar e instalar los drivers del multímetro para LabVIEW, estos drivers, al igual que LIFA para arduino, es un conjunto de VI's desarrollados para el manejo y configuración del multímetro. Además de esto se requirió también instalar los controladores VISA (Virtual Instrument Software Architecture) para permitir la comunicación entre la PC y el multímetro mediante comunicación GPIB.

El software de adquisición de datos (figura 7) se divide principalmente en 4 etapas: la primera de ellas consiste en un sub VI que inicializa la comunicación entre el multímetro y LabVIEW, posteriormente sigue la etapa de configuración que es donde se establecen los valores de las diferentes variables que controlan el funcionamiento del multímetro tales como numero de muestras, tipo de señal a medir, tiempo de integración, etc. Después de la etapa de configuración continúa la etapa de muestreo en donde se configuran el tipo de disparo y la cantidad de disparos antes de que el multímetro inicie la toma de muestras del fotosensor. Por último se tiene la etapa de adquisición de datos, en donde el multímetro realiza cada una de las mediciones programadas y multiplica los valores de corriente por la constante de calibración del sensor para convertirlos a luxes para finalmente enviarlas a una matriz de datos.

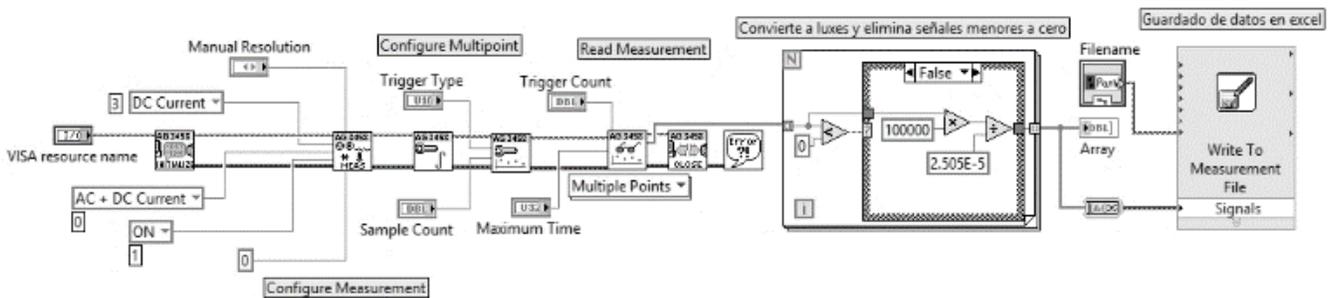


Figura 7. Diagrama a bloques de software de adquisición de datos.

5.2. Correspondencia entre tiempo y posición.

Los datos entregados por un goniofotómetro pueden ser representados de diferentes maneras, entre los principales podemos encontrar los siguientes:

Gráfico isolux. Se obtienen a partir de características de la fuente luminosa como flujo o intensidad luminosa, y dan información sobre la forma y magnitud de la emisión luminosa. Hacen referencia a iluminancias (flujo luminoso recibido por una superficie), los cuales se pueden obtener experimentalmente o por cálculo a partir de la matriz de intensidades.

Gráfico isocandela. Se representan en un plano mediante curvas de nivel, los puntos de igual valor de intensidad luminosa. Cada punto indica una dirección del espacio definida por dos coordenadas angulares.

Sólido Fotométrico. Es el sólido imaginario formado alrededor de una fuente de iluminación en donde la magnitud de cada vector representa el valor numérico de la intensidad luminosa en candelas, mientras que las otras dos coordenadas señalan la dirección de esa intensidad.

Matriz de intensidades. Es el elemento de caracterización más importante que puede tener una fuente de iluminación, en la luminotecnía moderna es llamada huella digital de las luminarias[1]. Es la misma información proporcionada por el sólido fotométrico, solo que en este caso, se representa en forma de matriz, en donde se tienen dos coordenadas, correspondientes a la posición de cada uno de los ejes del goniófotómetro y un tercer valor que representa la intensidad luminosa.

Como se puede ver, cualquiera que sea la forma en cómo se representan los datos, ya sea tablas o gráficas, debe haber una correspondencia entre el tiempo en el cual se toma la muestra y la posición del detector al momento de tomar la muestra.

Para propósitos de este proyecto y debido a que la velocidad de muestreo del multímetro es constante, mientras que la velocidad del marco es variable debido a las rampas de aceleración y frenado, fue necesario realizar un ajuste para poder correlacionar el momento de la toma de la muestra con la posición del fotosensor. A continuación se muestra el diagrama con las ecuaciones utilizadas en cada sección de movimiento del marco.

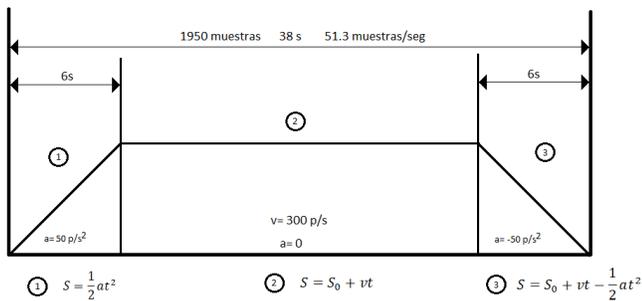


Figura 8. Ecuaciones para cálculo de posición del eje principal. Para determinar el tiempo en el que fue tomada cada muestra, se tomó un tiempo por vuelta de 38 segundos, de los cuales 6 son de la rampa de aceleración, 26 segundos de velocidad constante y 6 de la rampa de frenado. En esos 38 segundos se

toman un total de 1950 muestras a velocidad constante, dando un periodo de 19.4 milisegundos por muestra. A esa velocidad de muestreo y empleando las ecuaciones mostradas en la figura 8, se obtiene la posición en pasos del eje principal en el momento de la toma de cada muestra. Esta información es fundamental al momento de mostrar los datos entregados por el goniófotómetro, ya que como se ha mencionado, debe haber una correlación entre el tiempo de la toma de la muestra y la posición del fotosensor. En base a estos datos obtenidos se generó un formato en excel para la representación de los datos en forma de matriz, en donde cada lectura del fotosensor corresponde a una posición específica de cada uno de los ejes del goniófotómetro.

6. CONCLUSIONES.

Se desarrolló un sistema de control y adquisición de datos para un goniófotómetro para análisis de sistema de iluminación por medio de LabVIEW, el cual es un software con un entorno gráfico de programación, fácil de entender y que tiene la capacidad de comunicarse con dispositivos de control y medición, como lo son en este caso arduino y un multímetro digital.

El sistema de control, con la configuración actual de 1600 pasos/rev y 1950 lecturas por vuelta, tiene la capacidad de tomar 1.2 lecturas por paso. Si se toma en cuenta que la resolución es de 0.225° por paso, podemos darnos cuenta que estamos dentro de las especificaciones marcadas por la Norma Oficial Mexicana, la cual marca que el máximo paso angular debe ser 0.5° .

Se desarrolló también un panel frontal, en donde el usuario del equipo cuenta con una interfaz virtual por medio de la computadora para acceder a cada una de las funciones del goniófotómetro y poder controlar de manera remota el movimiento de los ejes y la toma de mediciones del foto sensor por medio del multímetro digital.

Se generó un formato de reporte en forma de matriz de intensidades, en donde con base en el tiempo de giro del marco giratorio y a la velocidad de muestreo del multímetro, se calculó la posición del fotosensor en cada una de las mediciones.

Como trabajo futuro para este sistema se tiene proyectado la adición de encoders a cada uno de los motores del goniófotómetro, para mejorar la precisión al momento de medir la posición de cada uno de los ejes, las cuales actualmente se calculan de manera teórica.

También se pretende desarrollar un software de procesamiento de datos, en el cual a partir de la matriz de intensidades obtenida de las mediciones, sea posible generar cualquiera de los gráficos utilizados para la representación de la distribución lumínica de una fuente de iluminación, como lo son el gráfico isolux, isocandela y el sólido fotométrico.

7. REFERENCIAS

- [1] A. Arias, J. L. Ealo-cuello, and E. Caicedo, "Diseño, construcción y calibración de un fotogoniómetro para la empresa colombiana de luminarias Roy Alpha S. A .," Ing. y Compet., vol. 9, no. 1, pp. 45-56, 2007.
- [2] D. D. E. Estudios and D. E. P. E. Investigación, "" DESARROLLO DE UN GONIOFOTÓMETRO," 2018.
- [3] A. Exteriores, P. Especificaciones, and Y. M. D. E. Prueba, "NOM-031-ENER-2012," 2012.
- [4] S. M. Driver, "Stepper Motor Driver," 2012.
- [5] V. D. C. Opto-isolated, "www.wantmotor.com," pp. 1-11.
- [6] I. Manual, LI-210R Photometric Sensor. Lincoln, Nebraska, 2015.